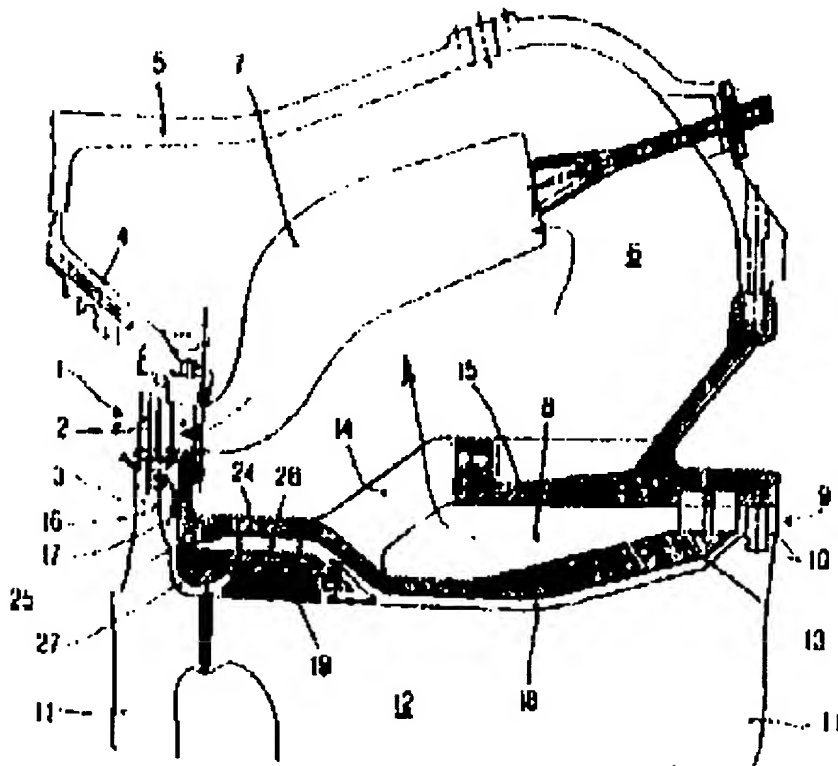


AN: PAT 1991-282930  
TI: Axial-flow gas turbine cooling system takes rotor-side cooling air from compressor hub after its last blade row  
PN: EP447886-A  
PD: 25.09.1991  
AB: The axial-flow gas turbine consists of a multi-stage turbine (1) which is mounted on a shaft of a compressor (9). The part (12) of the shaft between the compressor and the turbine is enclosed in a housing (13). The gap (18) between it and shaft forms a duct for the supply of cooling air to the face (16) of the turbine rotor. A labyrinth seal (19) prevents the differences in outlet pressure from the compressor and the inlet pressure of the cooling air supplied to the turbine.;  
PA: (ALLM ) ASEA BROWN BOVERI A; (ALLM ) ASEA BROWN BOVERI AG; (ALLM ) ASEA BROWN BOVERI LTD;  
IN: KREITMEIER F;  
FA: EP447886-A 25.09.1991; JP3105277-B2 30.10.2000; US5189874-A 02.03.1993; EP447886-B1 13.07.1994; DE59102139-G 18.08.1994;  
CO: CH; DE; EP; FR; GB; IT; JP; LI; US;  
DR: CH; DE; FR; GB; IT; LI;  
IC: F01D-005/08; F01D-005/14; F02C-003/00; F02C-007/18;  
DC: Q51; Q52;  
FN: 1991282930.gif  
PR: CH0000963 23.03.1990; US0679274 02.04.1991;  
FP: 25.09.1991  
UP: 07.11.2000



7F



Europäisches Patentamt  
Europ an Patent Office  
Office europ éen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 447 886 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 91103525.1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: F01D 5/08, F02C 7/18

22 Anmeldetag: 07.03.91

30 Priorität: 23.03.90 CH 963/90

71 Anmelder: ASEA BROWN BOVERI AG

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
25.09.91 Patentblatt 91/39

CH-5401 Baden(CH)

84 Benannte Vertragsstaaten:  
CH DE FR GB IT LI

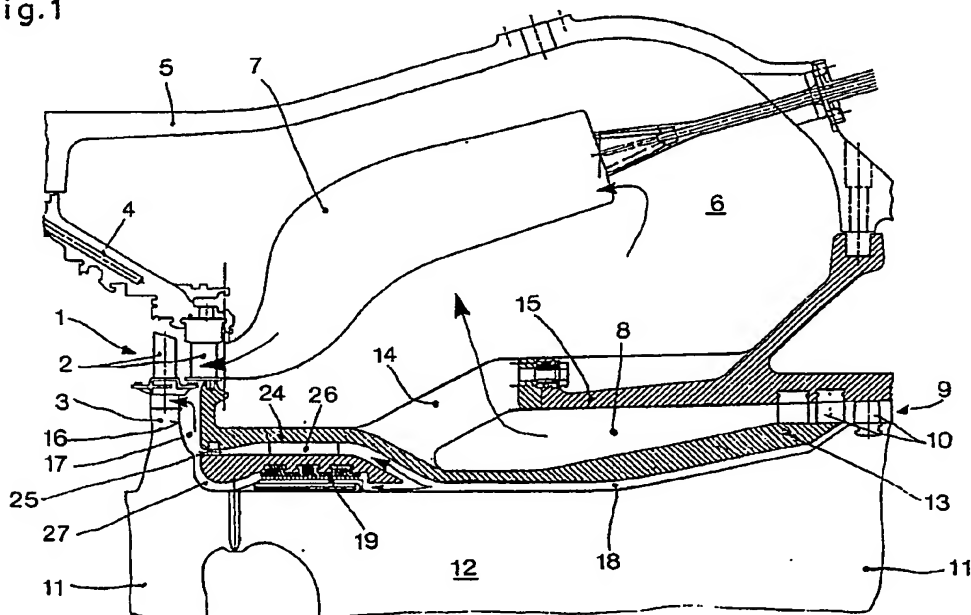
72 Erfinder: Kreitmeier, Franz  
Hägelerstrasse 75  
CH-5400 Baden(CH)

54 Axialdurchströmte Gasturbine.

57 Bei einer einwelligen axialdurchströmten Gasturbine ist der zwischen Turbine und Verdichter liegende Wellenteil eine Trommel (12), die von einer Trommelabdeckung (13) umgeben ist. Der zwischen Trommel und Trommelabdeckung gebildete Ringkanal (18) übernimmt die Führung der gesamten, nabenseitig hinter der letzten Laufreihe des Verdichters entnommenen Rotorkühlluft zur Stirnseite (16) der

Turbine und daran anschliessend zu deren rotorseitigen Kühlkanälen. Die Kühlluft wird innerhalb des Ringkanals in einem Drallgitter (25) umgelenkt und auf höchstmögliche Tangentialgeschwindigkeit beschleunigt. Mit dieser Massnahme kann einerseits der Axialschub der Gasturbine reduziert werden und andererseits auf den bisher üblichen Rückkühler für die Kühlluft verzichtet werden.

Fig.1



EP 0 447 886 A1

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine axialdurchströmte Gasturbine, im wesentlichen bestehend aus einer mehrstufigen Turbine, welche unter anderem einen auf einer gemeinsamen Welle angeordneten Verdichter antreibt,

- bei welcher der zwischen Turbine und Verdichter liegende Wellenteil eine Trommel ist, die von einer Trommelabdeckung umgeben ist, und bei welcher der zwischen Trommel und Trommelabdeckung gebildete Ringkanal die Führung der aus dem Verdichter entnommenen Kühlluft zur Stirnseite des Turbinenrotors und daran anschließend zu deren rotorseitigen Kühlkanälen übernimmt,
- und wozu zur Dichtung zwischen den Druckniveaus am Austritt des Verdichters und am Eintritt der Kühlluft in die Turbine auf der Trommel eine gegen die Trommelabdeckung dichtende Labyrinthdichtung angeordnet ist,
- wobei die gesamte rotorseitige Kühlluft für die Turbine dem Verdichter im Bereich des Verdichteraustritts entnommen wird.

## Stand der Technik

Derartige Gasturbinen sind bekannt. Die gesamte rotorseitige Kühlluft wird aus dem Sammelraum zwischen Verdichter und Turbine entnommen; der überwiegende Teil davon strömt direkt über ein Beschleunigungsgitter in die Rotorkühlkanäle ein. Hierbei befindet sich das Beschleunigungsgitter in der Regel auf dem gleichen Radius wie die Rotorkühlkanäle an der Stirnseite des Turbinenrotors. Der kleinere Anteil Kühlluft, d.h. die zur Kühlung der letzten Verdichterscheibe sowie der Trommel und der ersten Turbinenscheibe notwendige Luft muss zur Wahrnehmung der Kühlfunktion in einem Kühler rückgekühlt werden, bevor er drallfrei in den Ringkanal eingeleitet wird. Diese Lösung hat eine Reihe von Unzulänglichkeiten zur Folge.

- Zum einen hat die Kühlluft, da aus dem Sammelraum entnommen, nicht die höchstmögliche und erwünschte Reinheit, wie es insbesondere die feinen Schaufelkühlkanäle verlangen.
- Zum andern wird ein separater, kostspieliger Apparat für die Rückkühlung benötigt.
- Ferner wird dieser kleinere, rückgekühlte Luftanteil infolge der konvektiven Aufheizung auf seinem Weg bis zum Eintritt in den Ringkanal wiederum stark aufgeheizt, wodurch die Kühlwirkung reduziert wird.
- Zudem bewirkt die drallfreie Einführung der Luft eine zusätzliche Erhöhung der adiabaten Wandtemperatur in den betroffenen Bereichen.

- Schliesslich bewirkt die drallfreie Einführung der Kühlluft in den Ringkanal ausserdem eine hohe Wärmeübergangszahl  $\alpha$  im ganzen beaufschlagten Rotorbereich, was zusammen mit der erwähnten erhöhten Kühllufttemperatur hohe transiente Spannungen verursachen kann.
- Ueberdies ergeben sich im Bereich des Trommellabyrinthes extrem hohe  $\alpha$ -Zahlen mit den bekannten Nachteilen.
- Bei diesen bekannten Gasturbinen wird bewusst eine Rückströmung, d.h. eine Einströmung von ruckgekühlter Luft aus dem Ringkanal in den Hauptkanal des Verdichters hinter dessen letzte Laufreihe in Kauf genommen. Es versteht sich, dass durch diese Massnahme eine nicht unbeträchtliche Störung des Hauptströmung erfolgt.
- Dadurch, dass die Einströmung in die Rotorkühlkanäle zwangsläufig mit geringen Drall erfolgt, muss der Rotor Pumparbeit leisten, was die Kühllufttemperatur weiterhin anhebt.

## Darstellung der Erfindung

Die Erfindung versucht all diese Nachteile zu vermeiden. Desweiteren liegt ihr noch die zusätzliche Aufgabe zugrunde, bei axial durchströmten Gasturbinen der eingangs genannten Art, welche turbinenseitig grossdimensionierte Rotorstirnflächen aufweisen, den Axial Schub zu verringern.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass die rotorseitige Kühlluft für die Turbine nach der letzten Laufreihe des Verdichters an dessen Nabe entnommen und mit dem ihr anhaftenden Drall unmittelbar in den Ringkanal geleitet wird, und dass diese Kühlluft innerhalb des Ringkanals in einem Drallgitter umgelenkt und auf höchstmögliche Tangentialgeschwindigkeit beschleunigt wird.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem im Wegfall des bisher üblichen aufwendigen Kühlers einerseits und der geringen transienten Spannungen im umspülten Wellenbereich andererseits zu sehen.

Es ist besonders zweckmässig, wenn die rotorseitige Kühlluft nach der letzten Laufreihe des Verdichters an dessen Nabe entnommen wird und mit dem ihr anhaftenden Drall in den Ringkanal geleitet wird. Hierdurch wird zum einen gewährleistet, dass die Aufheizung des Rotors über die Kühlluft und somit das Niveau der transienten Spannungen kleinstmöglich ist. Darüberhinaus wird durch die nabenseitige Entnahme reinstmögliche, nahezu staubfreie Luft in den Ringkanal eingeleitet.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn das Drallgitter im Ringkanal auf einem kleinstmöglichen Radius und möglichst in unmittelbarer Nähe des Radseitenraumes angeordnet ist. Hierbei orientiert sich der

kleinstmögliche Radius an der an dieser örtlichen Stelle vorliegenden Schallgeschwindigkeit. Man hat somit ein Mittel in der Hand, den Axialschub zu reduzieren.

Schliesslich wird mit Vorteil die gegen die Trommelabdeckung dichtende Labyrinthdichtung zur Senkung der Wärmeübergangszahl  $\alpha$  rotorseitig in Segmente unterteilt. Dadurch wird die Wirkung der in Labyrinth üblicherweise extrem hohen  $\alpha$ -Werte unterbunden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer einwilligen axialdurchströmten Gasturbine dargestellt.

Es zeigen:

- Fig.1 einen Teillängsschnitt der Gasturbine;
- Fig.2 die teilweise Abwicklung eines Zylinderschnittes auf mittlerem Durchmesser des durchströmten Ringkanals;
- Fig.3 einen Teilquerschnitt durch die Trommel in der Ebene des Labyrinthes.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt sind von der Anlage beispielsweise das Abgasgehäuse der Gasturbine mit Abgasrohr und Kamin sowie die Eintrittspartien des Verdichtertells. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

#### Weg zur Ausführung der Erfindung

Die Turbine 1, von der in Fig.1 lediglich die erste axialdurchströmte Stufe 2 in Form einer Leit- und einer Laufreihe dargestellt ist, besteht im wesentlichen aus dem beschaufelten Rotor 3 und dem mit Leitschaufeln bestückten Schaufelträger 4. Der Schaufelträger ist im Turbinengehäuse 5 eingehängt. Im dargestellten Fall umfasst das Turbinengehäuse 5 ebenfalls den Sammelraum 6 für die verdichtete Brennluft. Aus diesem Sammelraum gelangt die Brennluft in die Ringbrennkammer 7, welche ihrerseits in den Turbineneinlass, d.h. stromaufwärts der ersten Leitreihe mündet. In den Sammelraum gelangt die verdichtete Luft aus dem Diffusor 8 des Verdichters 9. Von letzterem ist lediglich die letzte Stufe 10 dargestellt, wobei die Leitbeschaufelung dieser letzten Stufe aus der eigentlichen Leitreihe und der Nachleitreihe besteht. Die Laufbeschaufelung des Verdichters und der Turbine sitzen auf einer gemeinsamen Welle 11, wobei der zwischen Turbine und Verdichter befindliche Teil als Trommel 12 ausgebildet ist. Diese Trommel ist in ihrer ganzen axialen Erstreckung von einer Trommelabdeckung 13 umgeben, welche über Rippen 14 mit dem Diffusoraussengehäuse 15 des Verdichters befestigt ist. Diese Trom-

melabdeckung bildet verdichterseitig das Deckband für die Schaufeln der beiden letzten Verdichterleitreihen. Turbinenseitig begrenzt die Trommelabdeckung zusammen mit der Stirnseite 16 des Turbinenrotors einen radial verlaufenden Radseitenraum 17.

Dieser Raum 17 bildet das austrittsseitige Ende eines Ringkanals 18, welcher, ausgehend von der Nabe hinter der letzten Verdichterlaufreihe, zwischen Trommelabdeckung und Trommel verläuft. In diesen Ringkanal wird die gesamte rotorseitige Kühlluft eingeleitet. Bei der Dimensionierung des Ringkanals 18 ist wegen der darin herrschenden drallbehafteten Strömung folgendes zu beachten: Damit die Drallströmung entlang der Trommel nicht instabil wird, müssen Normal- und Tangentialgeschwindigkeit der Kühlluft sowie mittlerer Kanalradius und Kanalhöhe in einer gewissen Relation zueinander stehen, wie es aus der Theorie der Drallströmung bekannt ist.

Am turbinenseitigen Ende ist auf der Trommel ein gegen die Trommelabdeckung dichtendes Labyrinth 19 angeordnet. Das Labyrinth dichtet indes nur mittelbar gegen die Trommelabdeckung. Sein nichtrotierender Teil ist in einem Labyrinthkörper 24 auf geeigneter Art befestigt. Zur Senkung der Wärmeübergangszahl  $\alpha$  ist das Labyrinth rotorseitig in eine Anzahl an der Trommeloberfläche angeordneter Segmente unterteilt. In Fig.3 ist die Segmentierung des Labyrinthes 19 dargestellt. Im gezeigten Beispiel handelt es sich um axialgerichtete Hammerkopfnuten 21, welche in einen Bund 22 der Trommel 12 hineingearbeitet sind. In diese Nuten sind sogenannte Wärmestausegmente 20 mit entsprechend konfigurierten Füßen 23 eingehängt. Gegen die in den Ringkanal ragenden Aussenflächen der Wärmestausegmente wirken in Fig.3 nicht dargestellte metallische Dichtstreifen, welche beispielsweise im Labyrinthkörper 24 eingestemmt oder auf sonstiger Art befestigt sein können.

Gemäss der Erfindung soll nunmehr innerhalb des Ringkanals 18 die Kühlluft in einem Drallgitter umgelenkt und auf höchstmögliche Tangentialgeschwindigkeit beschleunigt werden. Dieses Drallgitter 25 ist im Ringkanal in Form von Dralldüsen unmittelbar gegenüber der Stirnseite 16 des Turbinenrotors vorgesehen, d.h. es mündet direkt in den Radseitenraum 17. Aus später zu erläuternden Gründen ist es zweckmässig, das Drallgitter auf dem kleinstmöglich Radius anzuordnen.

Um den Labyrinthkörper 24 in seiner Lage zu halten, ist er über mehrere am Umfang verteilte strömungsorientierte Tragrippen 26 mit der Trommelabdeckung 13 verbunden.

Der Zylinderschnitt in Fig. 2 zeigt in vergrössertem Masstab den Schaufelplan über dem Labyrinthkörper 24. Hierin bedeuten c die Absolutgeschwindigkeit der Kühlluft und u die Umfangsge-

schwindigkeit des Rotors. Zwecks Angabe der Grössenordnung bei einem ausgeführten Beispiel beträgt das Verhältnis Teilung zu Sehne bei den Tragrippen 26 beispielsweise 1,2 und bei den Dralldüsen 25 ca. 0,85. Bei den Tragrippen 26 handelt es sich lediglich um Strömungsrippen mit symmetrischen Profil, in denen der Strömung weder eine Aenderung der Geschwindigkeit noch der Richtung aufgezwungen wird. Die Strömung verlässt die Tragrippen mit der Geschwindigkeit  $c$  und einem Winkel von ca.  $20^\circ$  gegen die Umfangsrichtung.

Bei den Dralldüsen handelt es sich um ein Beschleunigungsgitter mit geringer Krümmung der Skelettlinie, welches die Strömung von nunmehr ca.  $25^\circ$  auf ca.  $10^\circ$  umlenkt und die Geschwindigkeit von ca. 120 auf ca. 420 m/sec steigert.

Die Wirkungsweise der Erfindung wird nachstehend anhand eines Zahlenbeispiels erläutert: Es versteht sich, dass auf die Bekanntgabe von allen den Berechnungen und Versuchen zugrundeliegenden Absolutwerten verzichtet wird, da diese wegen ihrer Abhängigkeit von allzu zahlreichen Parametern ohnehin ungenügende Aussagekraft besitzen würden.

Die gesamte für die Rotorkühlung erforderliche Kühlluft d.h. ca. 8% der verdichteten Luft wird hinter der letzten Laufreihe im Bereich der Nabe entnommen. Durch den Ringkanal 18 strömt die drallbehaftete Kühlluft bis vor das Trommellabyrinth 19. Durch den vom Verdichter her vorgegebenen Drall wird sichergestellt, dass infolge der kleinen Relativgeschwindigkeit zwischen Rotoroberfläche und Kühlluft minimale Wärmeübergangszahlen und tiefstmögliche adiabate Wandtemperaturen erreicht werden. Dies wiederum hat niedrige transiente Spannungen und tiefstmögliche stationäre Temperaturen im betrachteten Bereich zur Folge.

Durch das Labyrinth 19 strömt lediglich die unvermeidliche Leckmenge. Es ist nicht zu umgehen, dass im Labyrinth die Tangentialgeschwindigkeit auf ca. 50% der dortigen Umfangsgeschwindigkeit abgebaut wird. Damit geht bereits ein Teil der obengenannten positiven Drallwirkung verloren. Durch die spezifische Strömungsform im Labyrinth wird zudem der  $\alpha$ -Wert erhöht. Abhilfe wird hier geschaffen durch die Segmentierung des rotorseitigen Labyrinthteiles, welche den Wärmefluss in die Trommel stark vermindert. Durch die Tatsache der Drallreduktion innerhalb des Labyrinthes ist es wichtig, dass der auf das Labyrinth folgende Teil des Ausströmkanals 27 so kurz wie möglich bemessen wird, d.h. das Labyrinth ist möglichst nahe an die erste Turbinenscheibe zu verlegen.

Der Hauptteil der Rotorkühlluft wird über die strömungsorientierten Tragrippen 26 des Labyrinthkörpers 24 in die Dralldüsen 25 geführt. In diesem erfolgt eine Beschleunigung der Kühlluft bis nahe an die Schallgeschwindigkeit bei gleichzeitiger

leichter Umlenkung in Rotordrehrichtung. Die Abströmung aus dem Drallgitter erfolgt dabei nahezu tangential, d.h. ca.  $10^\circ$  zur Umfangsrichtung.

Zum einen wirkt sich dieser hoher Drall wiederum positiv auf den Wärmeübergang aus, wie bereits oben beschrieben. Vorteilhafte Werte können erzielt werden, wenn am Eintritt der Kühlluft in den Rotor das Verhältnis Tangentialgeschwindigkeit zu Umfangsgeschwindigkeit um ca. 1 beträgt. Dies bedeutet, dass beim Einstromen in den Rotorkühlkanal kein Arbeitsaustausch erfolgt, d.h. dass dem Rotor weder Arbeit entzogen noch hinzugefügt wird. Insbesondere wird auch die Temperatur der Kühlluft durch Pumparbeit nicht erhöht.

Darüberhinaus wird durch das hohe Geschwindigkeitsniveau der statische Druck am Austritt aus dem Drallgitter stark herabgesetzt. Im Radseitenraum herrscht somit ein niedrigerer mittlerer Druck, wodurch der Axialschub des Rotors erniedrigt wird.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf das gezeigte und beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. In Abweichung von der Lösung der getrennten Tragrippen und Dralldüsen ist durchaus eine Ausbildung denkbar, bei welcher diese beiden Elemente in einem einzigen Gitter vereinigt werden.

#### Patentansprüche

1. Axialdurchströmte Gasturbine, im wesentlichen bestehend aus einer mehrstufigen Turbine (1), welche unter andern einen auf einer gemeinsamen Welle (11) angeordneten Verdichter (9) antreibt,

- bei welcher der zwischen Turbine und Verdichter liegende Wellenteil eine Trommel (12) ist, die von einer Trommelabdeckung (13) umgeben ist, und bei welcher der zwischen Trommel und Trommelabdeckung gebildete Ringkanal (18) die Führung der aus dem Verdichter entnommenen Kühlluft zur Stirnseite (16) des Turbinenrotors und daran anschliessend zu deren rotorseitigen Kühlkanälen übernimmt,
- und wozu zur Dichtung zwischen den Druckniveaus am Austritt des Verdichters und am Eintritt der Kühlluft in die Turbine auf der Trommel eine gegen die Trommelabdeckung dichtende Labyrinthdichtung (19) angeordnet ist,
- wobei die gesamte rotorseitige Kühlluft für die Turbine dem Verdichter im Bereich des Verdichteraustritts entnommen wird,

dadurch gekennzeichnet,

- dass die rotorseitige Kühlluft für die Tur-

bine nach der letzten Laufreihe des Verdichters an dessen Nabe entnommen und mit dem ihr anhaftenden Drall unmittelbar in den Ringkanal (18) geleitet wird,  
- und dass diese Kühlluft innerhalb des Ringkanals in einem Drallgitter (25) umgelenkt und auf höchstmögliche Tangentialgeschwindigkeit beschleunigt wird.

2. Axialdurchströmte Gasturbine nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ringkanal turbinenseitig vom Radseitenraum (17) gebildet wird, welcher einerseits durch die Trommelabdeckung und andererseits durch die Stirnseite (16) des Turbinenrotors begrenzt ist.
3. Axialdurchströmte Gasturbine nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Drallgitter (25) im Ringkanal auf einem kleinstmöglichen Radius und möglichst in unmittelbarer Nähe des Radseitenraumes (17) angeordnet ist.
4. Axialdurchströmte Gasturbine nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gegen die Trommelabdeckung dichtende Labyrinthdichtung (19) zur Senkung der Wärmeübergangszahl  $\alpha$  rotorseitig in Segmente (20) unterteilt ist.

35

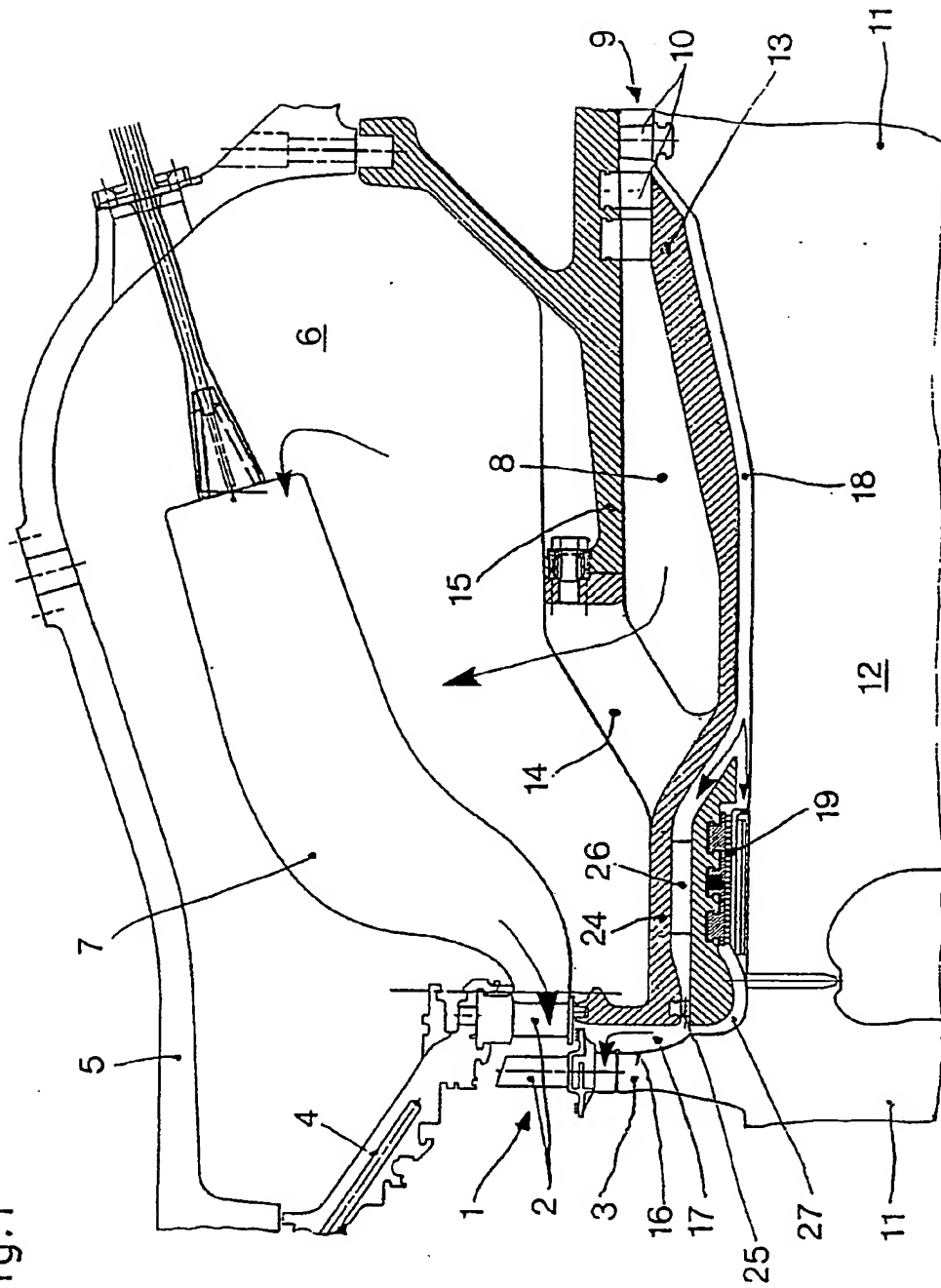
40

45

50

55

Fig.1



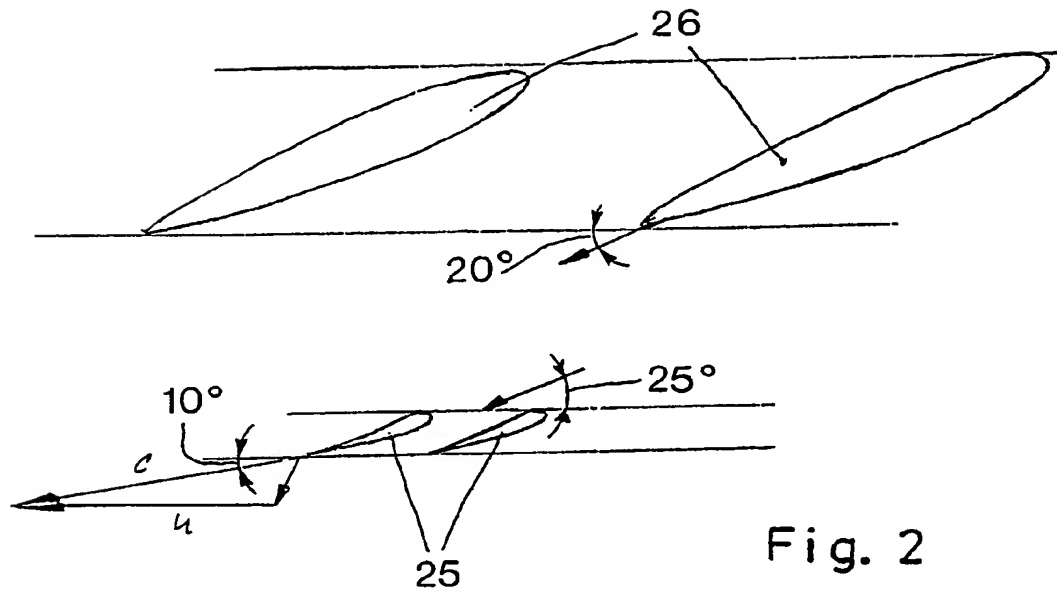


Fig. 2

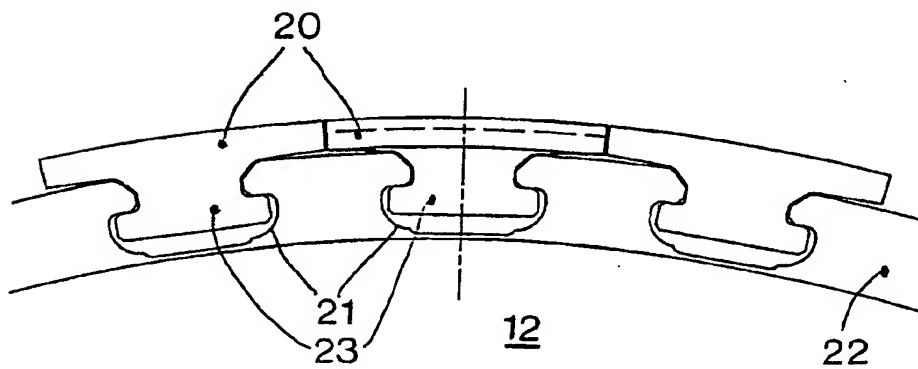


Fig. 3





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91 10 3525

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X,Y	DE-A-2 003 947 (MELVIN) * das ganze Dokument * - - - -	1-3	F 01 D 5/08 F 02 C 7/18
Y	US-A-3 826 084 (BRANSTROM) * Spalte 3, Zeile 38 - Spalte 4, Zeile 19; Figuren 1-3 * - - - -	1-3	
Y	GB-A-2 189 845 (REIGEL) * das ganze Dokument * - - - -	1-3	
A	US-A-4 236 869 (LAURELLO) * das ganze Dokument * - - - -	1-3	
A	GB-A-2 100 360 (EVANS) * das ganze Dokument * - - - -	1-3	
A	EP-A-0 188 910 (HOWE) * das ganze Dokument * - - - -	1-3	
A	EP-A-0 313 826 (KREITMEIER) * Spalte 1, Zeile 55 - Spalte 2, Zeile 28 * * Spalte 2, Zeile 37 - Spalte 2, Zeile 48 @ Spalte 5, Zeile 6 - Spalte 5, Zeile 27; Figur 1 * - - - -	1,4	
A	DE-A-3 424 139 (KREITMEIER) - - - - -		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		17 Juni 91	IVERUS D.
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: technologischer Hintergrund O: nichtschrittliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			